

# 油茶种子发育过程中脂肪酸的变化研究

刘星星<sup>1</sup>, 肖萍<sup>1</sup>, 罗火林<sup>1</sup>, 黄学勇<sup>1</sup>, 付宇新<sup>2</sup>, 罗丽萍<sup>1</sup>

(1. 南昌大学生命科学与食品工程学院, 江西南昌 330031)

(2. 江西省林业科学院, 江西省植物生物技术重点实验室, 江西南昌 330032)

**摘要:** 为实现油茶种子脂肪酸变化的快速测定, 并研究油茶生长发育过程中脂肪酸组成的变化规律, 本文以油茶、花生和芝麻为实验材料, 分别采用震荡+甲酯化法与索氏抽提+甲酯化法对样品进行预处理, 再利用气质联用(GC-MS)分析三种材料各自的脂肪酸组成, 并用激光扫描共聚焦显微技术对油茶发育过程中种子子叶细胞内油体进行细胞形态学观察。结果表明, 震荡+甲酯化法简便快捷, 精确度高, 适用于大量样品的快速检测。油茶种子含油率升高的高峰期是47~54 WAF (Weeks After Flower), 即9月至采摘期之间。油茶种子在发育过程中, 油酸作为主要脂肪酸, 在成熟种子油中含量高达78%以上, 且在整个发育时期中呈现上升趋势, 而棕榈酸、硬脂酸、亚油酸呈明显下降趋势。结合细胞学观察, 明确本油茶品系的油脂转化高峰期在45~48 WAF。

**关键词:** 油茶; 种子发育; 脂肪酸; 气相色谱-质谱联用(GC-MS)

文章编号: 1673-9078(2015)6-322-328

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.051

## Variations in Fatty Acid Composition of *Camellia Oleifera* Abel. Seeds during Development

LIU Xing-xing<sup>1</sup>, XIAO Ping<sup>1</sup>, LUO Huo-ling<sup>1</sup>, HUANG Xue-yong<sup>1</sup>, FU Yu-xin<sup>2</sup>, LUO Li-ping<sup>1</sup>

(1.College of Life Science and Food Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

(2.Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, China)

**Abstract:** To rapidly determine the variations in fatty acid composition during the development of *Camellia oleifera* Abel. seeds, the seeds of *C. oleifera*, peanuts (*Arachis hypogaea*), and sesame (*Sesamum indicum*) were pre-treated with shaking + methyl esterification and soxhlet extraction + methyl esterification. The fatty acid compositions of the seeds were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The morphology of *C. oleifera* seed oil body in the cotyledon was observed by laser scanning confocal microscopy (LSCM). The results showed that the method of shaking + methyl esterification was more suitable for the rapid detection of fatty acids in large numbers of samples due to its convenience, precision, and speed. The oil content peaked at 47~54 weeks after flowering (WAF), which was between September and the picking season. Oleic acid was the main type of fatty acid throughout the development of *C. oleifera* seeds, and it increased gradually during growth and its content in mature seeds was above 78%. However, palmitic acid, stearic acid, and linoleic acid showed clear decreasing trends during the same period. Cytological observations also indicated that the peak period for oil conversion in this *Camellia* strain was between 45 to 48 WAF.

**Key words:** *Camellia oleifera* Abel.; seed development; fatty acid; gas chromatography-mass spectrometry

油茶(*Camellia oleifera* Abel.)起源于中国, 是山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)植物中油脂含量较高且有栽培经济价值的一类植物的总称<sup>[1]</sup>。油茶作为我国

收稿日期: 2014-08-25

基金项目: 江西省主要学科学术和技术带头人培养对象项目(批准号:20123B0822004); 江西省高等学校科技落地计划项目(批准号:KJLD12051)

作者简介: 刘星星(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 植物资源与系统植物学

通讯作者: 罗丽萍(1972-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食物资源开发与利用

基本的木本食用油料树种, 主要生长在我国南方丘陵地区, 其中以湖南、江西两省的产量最高, 占全国产量的60%以上<sup>[2-3]</sup>。油茶籽全身是宝, 其中茶油享有“长寿油”、“美容酸”之美誉, 色清味香, 营养丰富, 所含的对人体健康有益的不饱和脂肪酸含量比国际上公认的优良食用油-橄榄油还要多, 物理化学性质及油脂特性与橄榄油极为相似<sup>[4]</sup>, 是我国以及国际粮农组织首推的卫生保健植物食用油之一<sup>[5]</sup>。如今茶油除了作为食用油之外, 在工业、医药行业应用前景广阔<sup>[6]</sup>。

油茶种子含油率是油茶产量和质量的重要指标, 与油体在种子子叶细胞的发育与积累密切相关。茶油

中含有多种脂肪酸对人体有益, 对其进行深入研究, 可为选出含油率高且脂肪酸组成合理的优良品系提供重要的理论指导, 而准确测定脂肪酸组分含量则是迫切需要解决的问题<sup>[7]</sup>。关于茶油脂肪酸含量的研究报道较多, 但油茶果实及种子发育过程中脂肪酸种类及含量的动态变化研究报道较少, 且研究一般采用索式提取法提取油脂后, 经分离、甲酯化, 再用 GC-MS 定性定量测定其脂肪酸组成, 该法存在耗费样品多, 操作繁琐等缺点<sup>[8]</sup>。

为实现对油茶种子发育过程中脂肪酸变化的快速测定, 本文首先以油茶、花生和芝麻为实验材料, 确定震荡+甲酯化法的测定效果。然后, 以该法系统地研究油茶种子在发育过程中脂肪酸组分及相对含量的变化, 探讨其脂肪酸累积规律, 测定不同发育时期种子含油率, 并对子叶细胞内油体进行观察, 并与已报道的油茶籽油的相关数据进行对比, 为油茶栽培以及茶油的生产加工提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

油茶高油品系“赣石 83-2”(高接换冠, 嫁接时间 1984~1985 年), 由江西省林业科学院提供, 种植于林业科学院山茶园油茶基地(东经 115°48', 北纬 28°46', 年平均气温 15.6 °C, 降雨量 1457 mm, 极端气温最高 36 °C, 最低-11 °C, 海拔 200~340 m。), 花期在 10 月中旬至 11 月底。在 2011 年, 记录下该品系植株开花日期(10 月 14 日), 从开花至第二年 7 月份长达 9 个月左右的时间, 主要是进行果实的生长发育, 油脂形成与积累很少。因此在第二年的 7 月 28 日即花后第 41 周(41 weeks after flower, 41 WAF)开始采集样品, 每隔一周采样一次, 直到 10 月 25 日(54 WAF)果实完全成熟期。将采集后的果实于密封袋中封口并立即带回实验室, 一部分将其果皮和种皮去除后的种仁放入 105±2 °C 恒温干燥箱中干燥至恒重, 于-18 °C 冷冻保存备用。另一部分将其果皮去除后立即放入 FAA 固定液(Formalin-acetic acid-alcohol, FAA)中固定, 发育完全的种子需要将种皮去除后再放入 FAA 固定液中固定存于 4 °C 冰箱内 48 h 以上, 并用真空泵对固定的材料进行抽气, 备用。

花生籽和白芝麻, 均购自江西赣新种业公司; 尼罗红染料, 百灵威科技有限公司; Immersion oil 浸镜油, 希玛(SIGMA)科技股份有限公司; 其余试剂均为国产分析纯。

Clarus GC 680-MS 600C 气质联用仪, 美国 Perkin

Elmer 公司; JA1003N 精密天平, 上海博力仪器设备有限公司; 101-2 型恒温干燥箱, 上海市实验仪器厂; RE-52AA 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; SZF-06A 索式提取器, 上海昕瑞仪器仪表有限公司; DJ-04 粉碎机, 江阴市康和机械制造有限公司; SHB-III A 循环水式多用真空泵, 河南太康教材仪器厂; CA1950 冰冻切片器, 德国莱卡 LEICA; LSM 710 激光扫描共聚焦显微镜, 德国卡尔蔡司 CARL ZEISS; 真空干燥器, 郑州益康化工产品有限公司。

### 1.2 样品处理方法

#### 1.2.1 索式抽提法

用粉碎机分别将油茶、花生、白芝麻进行粉碎后, 准确各称取 5 g 粉末, 如同测定籽粒含油率的方法对各材料粉末进行抽提, 经 8 h 后将混有油脂的石油醚在旋转蒸发器上将油脂与石油醚分离, 取脂肪油 40 mg 于 10 mL 试管中, 加入苯和石油醚(V/V=4/3)混合溶液 1 mL, 后加入 0.4 mol/L 的 KOH-CH<sub>3</sub>OH 溶液 1 mL, 振荡 10 min, 静置 10 min, 加入 1 mL 水, 分层后, 取上清液用无水 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 干燥, GC-MS 分析<sup>[9]</sup>。

#### 1.2.2 震荡+甲酯化法

甲酯化试剂制备: 准确称取 KOH 2.244 g 放入带磨口的棕色试剂瓶中, 取 100 mL 甲醇沿玻璃棒注入试剂瓶中, 用玻璃棒搅拌 3 min, 在室温下反应 2 h 后待用<sup>[10]</sup>。

分别称取 0.33 g 已粉碎的样品于 1.5 mL 的离心管中, 加入 1 mL 正己烷, 充分振荡 0.5 min, 室温静置 5 h, 上清液移入另一只 1.5 mL 离心管中, 在上清离心管加入已配好的 0.5 mL 甲酯化试剂进行甲酯化反应, 振荡 2 min, 在室温下反应 1 h。移上清, 在 6000 r/min 离心 5 min, 然后取上清进样 GC-MS 分析。

### 1.3 GC-MS 条件

色谱条件: 色谱柱: Elite-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 升温程序: 100 °C 保持 10 min, 以 10 °C/min 升至 280 °C, 保持 5 min; 载气为氦气, 总流速 6.0 mL/min, 压力 52.5 kPa, 进样量 0.2 μL, 分流比为 100:1。

质谱条件: EI 离子源, 电子能量 70 eV, 激活电压 1.9 V, 质量扫描范围 m/z 50~500, 溶剂延迟 3.00 min。

### 1.4 数据处理

用所测得的质谱数据采用 NIST 质谱数据库进行检索, 采用峰面积归一法进行对脂肪酸组成成分进行

统一汇总计算<sup>[11~12]</sup>; 应用 SPSS19.0 对数据进行方差统计分析及相关性分析。

### 1.5 含油率测定方法

用索氏提取法, 即残余法(国标 GB2906-82)<sup>[13]</sup>。

### 1.6 油茶发育过程新鲜种仁子叶细胞油体观察方法

选取不同采样时期(38 WAF~54 WAF)的经 FAA 固定液固定后的种仁用清水洗涤 3 次后, 放入 50 °C 温水中浸泡 4 h, 之后转入装有 10% 甘油的玻璃真空干燥器内, 循环水式多用真空泵抽气 1 h 后, 取出材料置于培养箱中放置 3 h, 温度设为 20 °C。用冰冻切片机切片、尼罗红染色, 制片, 滴加 Immersion oil 浸镜油防淬灭。在 LSCM 下使用 20 倍和 40 倍物镜扫描观察并拍照, 扫描参数为 HeNe1 激光, 激发波长为 483 nm, 吸收波长为 566~670 nm。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种样品处理方法检测结果的比较

采用索氏抽提+甲酯化法、震荡+甲酯化法分别处理芝麻、花生、油茶样品, GC-MS 结果显示两种方法提取的同种样品质谱图相似(图 1), 统计分析结果见表 1, 两种方法测定结果无显著差异。

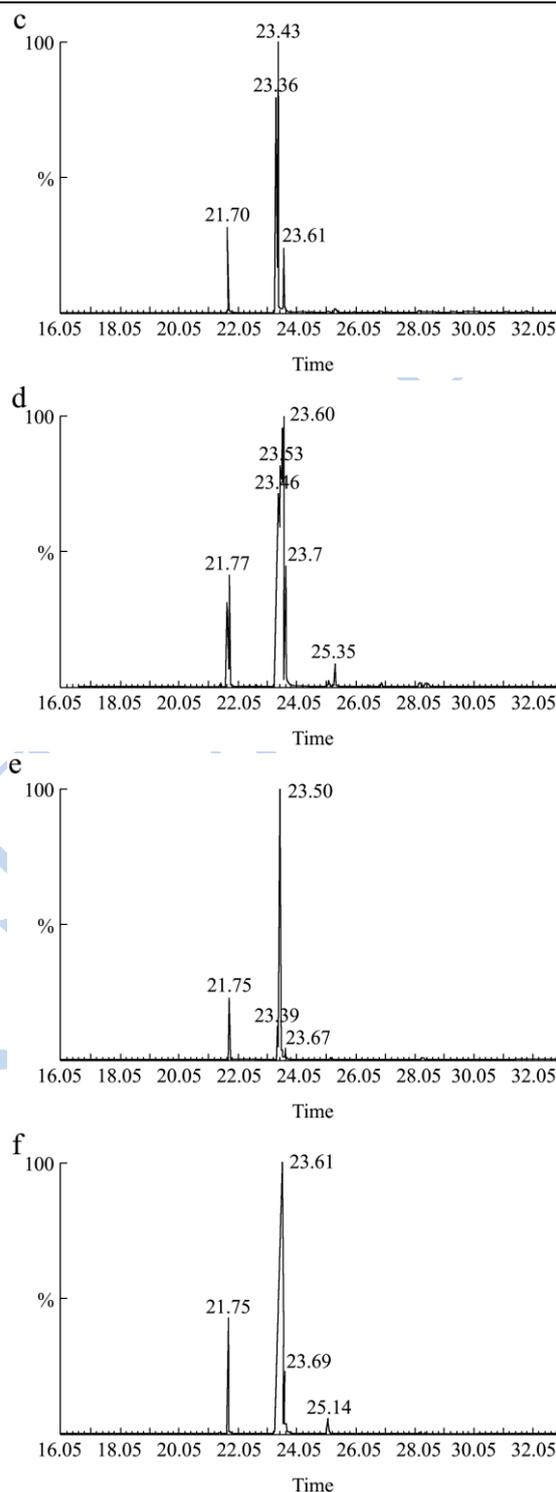
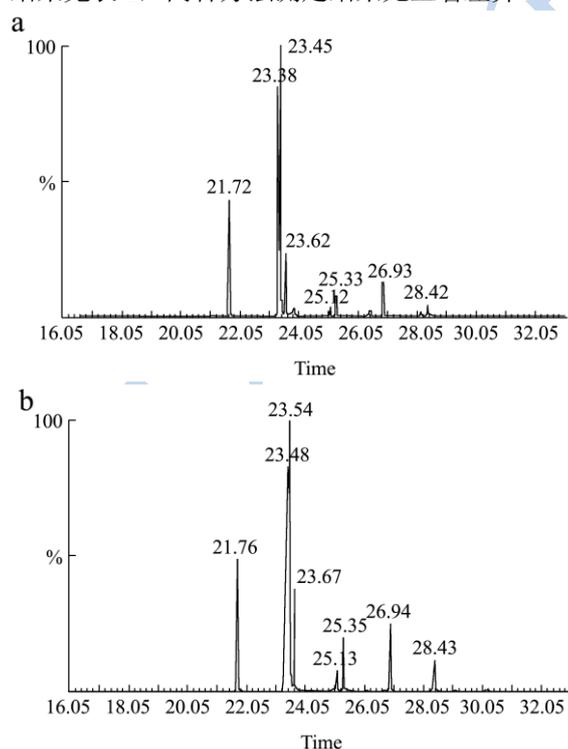


图 1 两种处理方法脂肪酸测定结果的 GC-MS 图

Fig.1 GC-MS spectra of fatty acids following two pre-treatments

注: a: 芝麻(震荡+甲酯化法); b: 芝麻(索氏抽提+甲酯化法); c: 花生(震荡+甲酯化法); d: 花生(索氏抽提+甲酯化法); e: 油茶(震荡+甲酯化法); f: 油茶(索氏抽提+甲酯化法)。

与传统的方法相比, 震荡+甲酯化法简化了油茶油脂的提取程序, 减少了工作量, 节省了工作时间; 能有效避免检测样品长时间加热对脂肪酸组分的影

响,从而使结果更加接近真实值;并且所需的样品检测测量较少,很适合于对早期种仁量少或珍贵育种材料的检测<sup>[14]</sup>。

表 1 两种处理方法对脂肪酸测定结果的差异显著性分析

Table 1 Analysis of significant differences in fatty acids following

two pre-treatments

品种	脂肪酸组分	自由度	标准差	t 值	P 值(0.01)
花生	棕榈酸	2	0.610	0.16	0.885
	亚油酸	2	0.347	6.97	0.014
	油酸	2	1.049	3.64	0.068
	硬脂酸	2	0.470	0.34	0.766
	花生烯酸	2	0.047	7.30	0.018
	花生酸	2	0.177	3.40	0.077
	山萘酸	2	0.256	4.18	0.053
芝麻	棕榈酸	2	0.549	1.87	0.202
	亚油酸	2	0.881	6.19	0.025
	油酸	2	0.322	8.69	0.013
	硬脂酸	2	0.360	2.25	0.154
	花生烯酸	2	0.046	0.13	0.322
	花生酸	2	0.022	1.53	0.266
	山萘酸	2	0.023	1.28	0.328
油茶	棕榈酸	2	0.258	9.30	0.011
	亚油酸	2	0.730	1.67	0.237
	油酸	2	0.516	8.44	0.017
	硬脂酸	2	0.125	4.00	0.057
	花生烯酸	2	0.072	2.85	0.104
	花生酸	2	0.003	0.72	0.547

## 2.2 震摇+甲酯化法的精密度分析

利用震摇+甲酯化法对 3 种材料分别进行 3 次平行实验,并对其进行精密度分析,结果显示在 3 次平行实验中测定的脂肪酸组分含量的变异幅度小,变异系数相近,差异不显著(表 2),表明震摇+甲酯化法测定脂肪酸精确度较高,重复性好,适合于脂肪酸组分测定。

## 2.3 油茶种子发育过程中脂肪酸的动态变化

利用震摇+甲酯化法对油茶种子 41 WAF~54 WAF 的脂肪酸种类及含量进行测定并得出其结果(图 2)。从图 2 可知,油茶种子在 41 WAF 共有 4 种脂肪酸,其中以棕榈酸含量最高(27.10%),其次是油酸(19.88%)、亚油酸(15.30%)、硬脂酸(7.52%)。从 41~45 WAF,除油酸含量逐渐增加外,其余 3 种都表现出逐渐降低的趋势,在 45 WAF、46 WAF 时期,4 种脂肪酸均降低,此时花生酸开始出现,2 周后棕榈

酸、硬脂酸、亚油酸含量变化不明显,油酸含量继续升高,花生烯酸也随即出现,但含量较低,脂肪酸种类达到 6 种。随着种子的发育,各脂肪酸含量趋于平稳。棕榈酸、亚油酸、硬脂酸的总含量在 41 WAF 时期是最高的,之后逐渐降低,说明它们是最先形成且可能是同时形成的;花生烯酸、花生酸在种子成熟过程中从无到有,且花生烯酸先于花生酸形成,说明花生酸有可能是由花生烯酸转化而来的,这也证明了饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸同时形成,而且它们之间可以互相转化的关系<sup>[15]</sup>。

表 2 震摇+甲酯化法的精密度测验

Table 2 Results from the experiment with shaking + methyl esterification

物种	脂肪酸组分	平均值	变异幅度	最大值	最小值	标准差	变异系数/%
花生	棕榈酸	12.71	0.733	13.30	12.57	0.533	4.194
	亚油酸	31.52	0.401	31.76	31.35	0.201	0.636
	油酸	35.63	0.093	35.67	35.57	0.053	0.149
	硬脂酸	5.44	0.110	5.45	5.34	0.099	1.823
	花生烯酸	0.65	0.002	0.65	0.65	0.001	0.177
	花生酸	1.72	0.108	1.76	1.65	0.035	2.007
	山萘酸	2.38	0.194	2.49	2.30	0.058	2.438
芝麻	棕榈酸	11.05	0.246	11.17	10.93	0.123	1.114
	亚油酸	31.78	0.035	31.79	31.76	0.018	0.001
	油酸	39.93	0.239	40.01	39.77	0.137	0.003
	硬脂酸	7.66	0.083	7.69	7.610	0.047	0.006
	花生烯酸	0.20	0.008	0.21	0.20	0.004	0.012
	花生酸	0.61	0.030	0.62	0.59	0.015	0.025
	山萘酸	0.12	0.046	0.15	0.10	0.024	0.204
油茶	棕榈酸	8.66	0.392	8.80	8.401	0.220	0.025
	亚油酸	4.73	0.991	5.27	4.28	0.500	0.106
	油酸	76.36	0.085	76.39	76.31	0.044	0.001
	硬脂酸	1.97	0.062	2.00	1.93	0.031	0.016
	花生烯酸	0.43	0.031	0.45	0.42	0.016	0.037
	花生酸	0.05	0.005	0.05	0.05	0.003	0.054

成熟油茶种子中共含有 6 种脂肪酸,其中 3 种饱和脂肪酸:棕榈酸、硬脂酸、花生酸,3 种不饱和脂肪酸:油酸、亚油酸、花生烯酸,不饱和酸的含量达到 80%以上。与奚如春测定的赣 25 个油茶高产无性系的脂肪酸组成相比,本品系多了花生酸与花生烯酸,且不含有亚麻酸<sup>[16]</sup>。营养界把油酸称为“安全脂肪酸”。油酸的含量多少是评定食用油品质的重要标志。“赣石 83-2”的成熟油茶种子油中油酸含量最高,达 78.43%。

从图 3 及表 3 油茶种子发育过程中饱和脂肪酸与

不饱和脂肪酸含量变化趋势, 得出饱和脂肪酸总含量呈现先降低, 至 45 WAF 后开始升高, 至 48 WAF 后则又持续降低, 直到采摘期。不饱和脂肪酸总含量则与其变化趋势相反, 41~45 WAF 不饱和脂肪酸含量逐渐升高, 至 45 WAF 后开始降低, 至 46 WAF 后则又持续升高, 直到采摘期。

对油茶种子发育过程中各脂肪酸及饱和与不饱和脂肪酸总含量进行相关性分析, 以探讨各种脂肪酸成分间的变化关系。如图 4 所示, 饱和脂肪酸总含量自 41 WAF 后逐渐下降, 而不饱和脂肪酸则有逐渐上升的趋势, 到了 53 WAF 是基本趋于稳定。由表 4 可知, 油酸与棕榈酸、硬脂酸间存在极显著负相关, 与花生酸存在极显著正相关; 亚油酸与棕榈酸、硬脂酸间存在极显著正相关; 总饱和脂肪酸含量与总不饱和脂肪酸含量间相关性系数为-0.711, 存在极显著负相关, 说明在种子发育过程饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸间可能存在相互转化关系。不饱和脂肪酸中油酸与亚油酸存在极显著负相关, 从定量的角度可以说明在种子发育过程中, 随着果实的成熟, 亚油酸在不断向油酸转化, 其内在联系尚待进一步的研究。

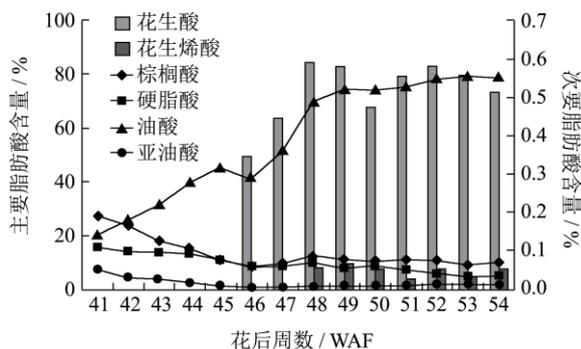


图 2 不同发育时期各类脂肪酸含量变化趋势

Fig.2 The change in fatty acid composition over different developmental stages

油茶油脂的积累受到很多外界因素的影响, 其中温、湿度尤为重要。在成熟积累期间, 气温高, 昼夜温差大, 有利于油脂的转化形成。尤其是夜间的低温, 有利于不饱和脂肪酸的积累与形成<sup>[5]</sup>。以上分析结果可知, 本油茶品系的油脂转化高峰期在 45~48 WAF, 在油脂转化的高峰期, 可以人为地控制温湿度条件, 促进油脂的转化合成。

## 2.4 油茶种子含油率的变化

油茶主要是以采收种子榨取茶籽油为主要目的, 所以果实中种子的含油率已成为油茶果实的主要经济指标之一。按上述试验方法和条件, 索氏提取法测得油茶籽的含油率如图 5 所示。图 5 中可见, 油茶种子

的含油率是随着果实生长发育呈现逐步增加的趋势, 41~47 WAF(7 月底至 9 月上旬)变化相对缓慢, 47~54 WAF (9 月至采摘期)有明显升高。

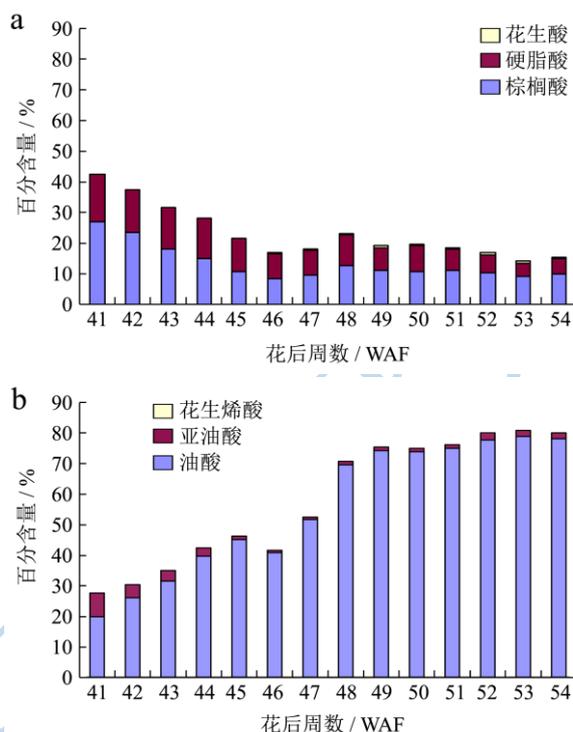


图 3 不同发育时期各类脂肪酸含量变化

Fig.3 The changes in fatty acids over different developmental stages

注: a: 各类饱和脂肪酸百分含量; b: 各类不饱和脂肪酸

百分含量。

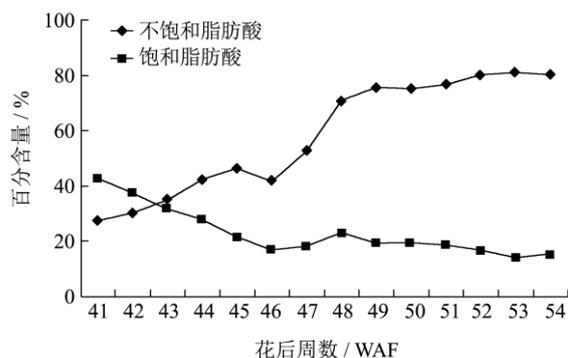


图 4 不同发育时期饱和与不饱和脂肪酸总百分含量变化

Fig.4 The changes of relative abundances (%) of saturated fatty acids and unsaturated over different developmental stages

## 2.5 油茶种子发育过程中油体的观察

采用冰冻切片方法、尼罗红染色与激光扫描共聚焦显微技术相结合, 对油茶种子发育过程子叶细胞中的油体进行观察(图 6)。可以看出 41 WAF(7 月底)子叶细胞内油体非常少, 且集中于细胞壁周围, 细胞中间几乎没有油体存在(图 6a); 42 WAF~54 WAF

(8月初到种子采摘期)随着种子的逐渐成熟,油体逐渐增多,从细胞边缘向细胞中央堆积,直到种子成熟,油体几乎充满整个细胞(图6b~f)。这种油体的形成形式及油脂分布与拟南芥属种子中油体形成方式

相同, TAG (Triacylglycerols, 三酰甘油)的合成开始于心形胚晚期,在鱼雷期子叶细胞内开始形成油体,经继续发育,油体从细胞边界慢慢集中于细胞中央<sup>[17]</sup>。

表4 油茶种子脂肪酸组间相关系数

Table 4 The inter-correlation coefficient of the *Camellia* seed fatty acid composition

脂肪酸种类	棕榈酸	硬脂酸	花生酸	油酸	亚油酸	花生烯酸	饱和脂肪酸	不饱和脂肪酸
棕榈酸	1							
硬脂酸	0.815**	1						
花生酸	0.736*	-0.245	1					
油酸	-0.747**	-0.693**	0.854**	1				
亚油酸	0.944**	0.710**	0.662	-0.667**	1			
花生烯酸	0.217	0.243	-0.222	-0.190	0.247	1		
饱和脂肪酸	0.967**	0.936**	0.205	-0.748**	0.888**	0.236	1	
不饱和脂肪酸	-0.705**	-0.668**	0.853**	0.998**	-0.615*	-0.146	-0.711**	1

注: \*表示显著水平为0.05时显著相关; \*\*表示显著水平为0.01时极显著相关。

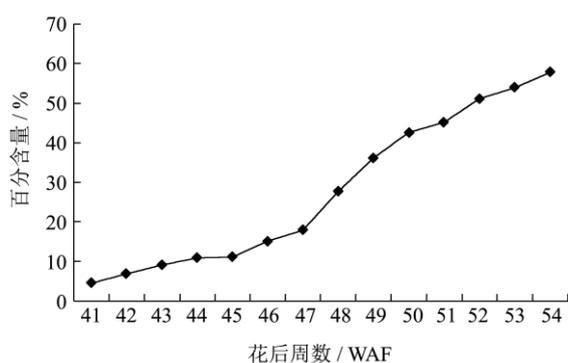


图5 不同发育时期含油率变化

Fig.5 The oil content changes through different developmental stages

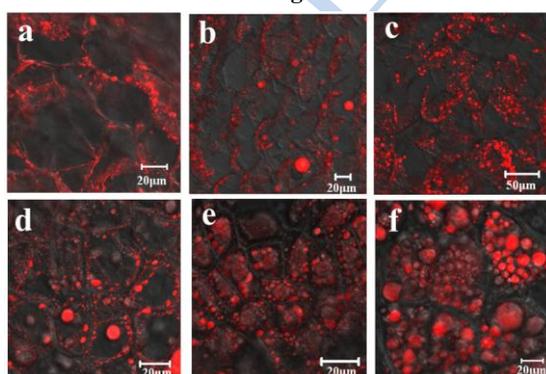


图6 油茶种子子叶发育过程的油体观察

Fig.6 Observation of the oil body in *Camellia* seed cotyledon development

注: a: 41 WAF; b: 42 WAF; c: 45 WAF; d: 48 WAF; e: 51 WAF; f: 54 WAF。

### 3 结论

#### 3.1 索氏抽提+甲酯化法与震荡+甲酯化法测定结果

无显著差异,但后者具有节约样品、时间等优势,在减少了工作量的同时,有效的避免了检测样品的取样误差和长时间加热处理对脂肪酸组分的影响,测得结果更加接近真实值,尤其是实验所需的样品量少。在样品量很少,用传统方法不易提取脂质的情况下,此法也能顺利地完成分析工作。本实验将震荡+甲酯化法应用于花生、芝麻和油茶三种材料,都获得了稳定一致的效果。

3.2 油茶种子中的油酸在整个发育时期中呈上升趋势,至成熟时相对含量达78%以上,棕榈酸、硬脂酸、亚油酸呈明显下降趋势。油茶籽中不饱和脂肪酸含量高达80%以上,以油酸和亚油酸为主,还含有少量的花生烯酸等高价不饱和脂肪酸,因此才有具有改善心脑血管疾病,降低胆固醇等作用,是优质保健食用油。经测定及细胞学观察,可知本油茶品系的油脂转化高峰期在45~48 WAF,饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸百分含量在53 WAF之后基本保持稳定,但种子含油量在48~54 WAF时期有明显增加,因此该品系油茶最适合收获时期为54 WAF之后,这为指导油茶栽培管理提供了理论依据。

#### 参考文献

[1] 植物志编委会.中国植物志[M].北京:科学出版社,1998  
Delectis florum reipublicae popularis sinicae academiae sinicae edita. Flora reipublicae popularis sinicae [M]. Science Press, 1998

[2] 张可,钱和,张添.油茶籽的综合开发利用[J].食品科技,2003,4:85-86  
ZHANG Ke, QIAN He, ZHANG Tian. The multipurpose

- utilization of *Camellia oleifera* seed [J]. Food Science and Technology, 2003, 4: 85-86
- [3] Zhang Lian-liang, Wang Yong-mei, Wu Don-mei, et al. Microwave-assisted extraction of polyphenols from *Camellia oleifera* fruit hull [J]. Molecules, 2011, 16: 4428-4437
- [4] Zhong Hai-yan, Bedgood Jr.DR, Bishop AG, et al. Effect of added caffeic acid and tyrosol on the fatty acid and volatile profiles of *Camellia* oil following heating [J]. Journal Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(25): 9551-9558
- [5] 庄瑞林.中国油茶[M].北京:中国林业出版社,2008  
ZHUANG Rui-lin. Oil gamellia of China [M]. China Forestry Publishing House, 2008
- [6] YE Yong, GUO Ya, LUO Yue-ting. Anti-Inflammatory and analgesic activities of a novel biflavonoid from shells of *Camellia oleifera* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13: 12401-12411
- [7] MA Jin-lin, YE Hang, RUI Yu-kui, et al. Fatty acid composition of *Camellia oleifera* oil [J]. Journal of Consumer Protection and Food Safety, 2010, 6(1): 9-12
- [8] 郭夏丽,肖萍,杜尚广,等.不同品系油茶种子脂肪酸组成分析[J].南昌大学学报(理科版),2013,37(1):43-46  
GUO Xia-li, XIAO Ping, DU Shang-guang et al. Fatty acid composition of *Camellia oleifera* Abel. seeds with different strains [J]. Journal of Nanchang University(Natural Science), 2013, 37(1): 43-46
- [9] 丽艳,罗丽萍,杨柏云,等.白木香种子油脂肪酸组成分析[J].安徽农业科学,2008,36(6):2207-2208  
LI Yan, LUO Li-ping, YANG Bo-yun, et al. Analysis on the fatty acid composition in *Aquilaria sinensis* seed oil [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(6): 2207-2208
- [10] 孙潇辉,李茜,吕萍,等.不同甲酯化方法对瓜蒌籽油中十八碳三烯酸种类和含量的影响[J].现代食品科技,2013, 29(3):647-650  
SUN Xiao-hui, LI Qian, LV Ping, et al. Effect of different esterification methods on the type and content of octadecatrienoic acid in *Trichosanthes Kirilowii* Maxim seed oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(3): 647-650
- [11] 魏鹏程,赵铭钦,刘鹏飞,等.不同蒸馏方法提取辛夷挥发油的比较分析[J].现代食品科技,2013,29(2):358-361  
WEI Peng-cheng, ZHAO Ming-qin, LIU Peng-gei, et al. Comparative analysis of different distillation extraction of flos magnoliae volatile oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2): 358-361
- [12] Sukesh Narayan Sinha, Ramavati Pal, Aruna Dewan, et al. Effect of dissociation energy on in formation and sensitivity of an analytical method for determination of chlorpyrifos in human blood, using gas chromatography-mass spectrometer (GC/MS in MS/MS) [J]. International Journal of Mass Spectrometry, 2006, 253(1-2): 48-57
- [13] GB2906-82,谷类、油料作物种子粗脂肪测定法(中华人民共和国国家标准)[S]  
GB2906-82, Cereals, oil crops seed fat assay (People's Republic of China National Standard) [S]
- [14] 于福宽,孙君明,韩粉霞,等.大豆籽粒中脂肪酸组分快速检测方法的比较分析[J].大豆科学,2011,30(4):626-631  
YU Fu-kuan, SUN Jun-ming, HAN Fen-xia, et al. Comparison of three arpid gas chromatograph (GC) methods for determination of fatty acid components in soybean seeds [J]. Soybean Science, 2011, 30(4): 626-631
- [15] 郑德勇,凌宏有.福建油茶籽在成熟过程中重要成分动态变化的研究[J].中国粮油学报,2014,29(2):36-43  
Zheng De-yong, Ling Hong-you. Functional composition dynamic variation in fujian *Camellia oleifera* seeds during its maturation period [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(2): 36-43
- [16] 奚如春,龚春,黄宝祥,等.赣 25 个油茶高产无性系的脂肪酸组成及遗传变异的初步研究[J].江西林业科技,2002, 3(4): 14-31  
XI Ru-chun, GONG Chun, HUANG Bao-xiang, et al. Study on genetics variation and fatty acid composition of 25 clones of high-yielding *Camellia oleifera* [J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2002, 3(4): 14-31
- [17] Siloto R M P, Findlay K, Lopez-villalobos A, et al. The accumulation of oleosins determines the size of seed oil bodies in *Arabidopsis* [J]. Plant Cell, 2006, 18: 1961-1974